



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 25 802 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 23 R 3/02**  
F 02 C 7/26

⑳ Aktenzeichen: P 43 25 802.6  
㉔ Anmeldetag: 31. 7. 93  
㉕ Offenlegungstag: 2. 2. 95

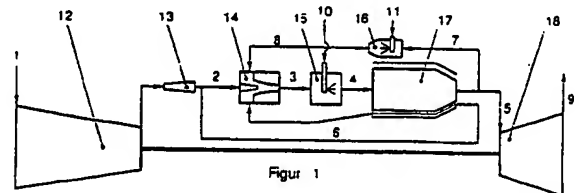
DE 43 25 802 A 1

㉑ Anmelder:  
ABB Management AG, Baden, Aargau, CH  
  
㉒ Vertreter:  
Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg

㉓ Erfinder:  
Senior, Peter, Mellingen, CH  
  
㉔ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
DE 28 36 539 C2  
DE 30 21 812 A1  
DE-OS 23 01 865  
IT 4 60 206

㉕ Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff

㉖ Bei einem Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff wird ein Teil des Abgases (7, 8) von der Brennkammer (17) in eine vor dem Brennstoffvormischer (15) angeordnete Strahlpumpe (14) zurückgeführt und dort unter Ausnutzung der Druckenergie mit der eintretenden Verbrennungsluft (2) gemischt. Anschließend wird dieses Abgas/Luft-Gemisch (3) mit Brennstoffvormischer (15) während der Zündverzugszeit mit dem Brennstoff gemischt. Alternativ dazu können auch das von der Brennkammer (17) zurückgeführte Abgas (7), die Verbrennungsluft (2) und der Brennstoff gleichzeitig in einer integrierten, aus Strahlpumpe und Brennstoffvormischer bestehenden Einheit (19) gemischt werden.



DE 43 25 802 A 1

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff unter Verwendung eines Brennstoffvormischers, bei dem nur sehr geringe  $\text{NO}_x$ -Emissionen auftreten.

## Stand der Technik

Bei den bekannten Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen unter Verwendung von Vormischbrennern wird die Verbrennungsluft zuerst in einem Verdichter verdichtet und durch einen Diffusor geführt. Dann sind unterschiedliche weitere Verfahrensschritte möglich. So wird z. B. ein Teil der Luft vom Diffusor zur Kühlung der Brennkammerwände benutzt, bevor dieser Teil der Luft in die Brennkammer geleitet wird. Der andere Teilstrom der Luft gelangt über den Brenner nach Mischung mit dem Brennstoff ebenfalls in die Brennkammer, in der das Brennstoff/Luft-Gemisch verbrennt. Bei einer anderen Variante dient der gesamte vom Diffusor kommende Luftmassenstrom zunächst zur Kühlung der Brennkammerwände, bevor er durch den Brenner gelangt und mit dem Brennstoff gemischt wird. Das Gemisch wird in der Brennkammer verbrannt, die Turbine beaufschlagt und das Abgas wird abgeführt und kann z. B. zur Dampferzeugung einer Dampfturbine verwendet werden.

Es ist bekannt, daß die untere Grenze der  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte der Gasturbinenanlagen bei den bekannten trockenen Vormischbrennsystemen, z. B. dem Doppelkegelbrenner nach EP A1 0 321 809 und EP A1 0 521 325, durch die Flammentemperatur auf der unteren Löschgrenze bestimmt wird. Praktische Einschränkungen erfordern einen Sicherheitsabstand oberhalb dieser Grenze, was zu Flammentemperaturen führt, die größer als 1650 K sind.

Der Wunsch bzw. der Zwang nach Erhöhung des Wirkungsgrades von Gasturbinen führt dazu, die Flammentemperaturen noch mehr zu erhöhen, wobei aber wiederum die  $\text{NO}_x$ -Werte ansteigen, was aus Gründen des Umweltschutzes nicht erwünscht ist.

## Darstellung der Erfindung

Die Erfindung versucht, all diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 den Wirkungsgrad zu erhöhen und gleichzeitig die  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte weiter zu verringern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß ein Teil des Abgases von der Brennkammer in eine vor dem Brennstoffvormischer angeordnete Strahlpumpe zurückgeführt wird, dort unter Ausnutzung der Druckenergie der eintretenden Verbrennungsluft mit dieser gemischt wird und dieses Abgas/Luft-Gemisch im Brennstoffvormischer mit dem Brennstoff während der Zündverzugszeit gemischt wird oder daß alternativ dazu das zurückgeführte Abgas, die Verbrennungsluft und der Brennstoff gleichzeitig unter Ausnutzung des Zündverzuges in einer integrierten, aus Strahlpumpe und Brennstoffvormischer bestehenden Einheit gemischt

werden. Eine weitere Variante ist die Mischung von Verbrennungsluft und Brennstoff vor der Zugabe des Abgases.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem darin zu sehen, daß höhere Brennereintrittstemperaturen erreicht werden und dadurch die  $\text{NO}_x$ -Werte auf Grund der reduzierten Reaktionsdichte gesenkt werden können. Weiterhin werden die Zündverzugszeiten des Brennstoff/Luft-Gemisches bei den üblichen Gasturbinendrücken erheblich reduziert, so daß man auf den Einsatz von Flammenhaltern und Pilotflammen verzichten kann. Das führt ebenfalls zu einer Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte.

Es ist besonders zweckmäßig, wenn die Strahlpumpe bzw. die integrierte Einheit direkt mit der vom Verdichter kommenden Verbrennungsluft beliefert wird, weil dann die bereits vorhandene Geschwindigkeit ausgenutzt werden kann, ohne daß zusätzlich Diffusor- und Düsenverluste auftreten.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Strahlpumpe direkt mit dem Brennstoffvormischer integriert ist, weil in beiden Einheiten eine intensive Mischung der verschiedenen Medien durchgeführt wird.

Schließlich wird mit Vorteil beim Start der Anlage bzw. bei sehr niedrigen Lasten ein vor der Hauptbrennstoffeindüsung angeordnetes Hilfsbrennersystem, das nicht auf Selbstzündung angewiesen ist, zugeschaltet, weil damit die Temperaturen auf das notwendige Maß erhöht werden können.

Weiterhin ist es zweckmäßig, wenn bei Teillastbedingungen in das rezirkulierte Abgas durch eine Zusatzbrennstoffeindüsung weiterer Brennstoff eingedüst wird, wobei das Zündverzugsprinzip ausgenutzt wird. Dadurch kann die erforderliche Oxidationsmitteltemperatur für den Hauptbrenner erzeugt werden.

Außerdem ist es vorteilhaft, wenn beim Start der Anlage bzw. bei sehr niedrigen Lasten ein vor der Zusatzbrennstoffeindüsung angeordnetes Hilfsbrennersystem, das nicht auf Selbstzündung angewiesen ist, zugeschaltet wird. Dadurch kann ebenfalls die erforderliche Oxidationsmitteltemperatur für den Hauptbrenner erreicht werden.

## Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung sind einige Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Verfahrensschema, bei dem die Luft aus dem Diffusor in einen Strom zur Kühlung der Brennkammerwände und in einen Strom für die Strahlpumpe aufgeteilt wird und Strahlpumpe und Brennstoffvormischer getrennte Einheiten bilden;

Fig. 2 ein Verfahrensschema wie in Fig. 1 mit dem Unterschied, daß Strahlpumpe und Brennstoffvormischer eine integrierte Einheit bilden;

Fig. 3 ein Verfahrensschema, bei dem die Luft aus dem Verdichter in einen Strom zum Diffusor und zur anschließenden Kühlung der Brennkammerwände und in einen direkten Strom für die Strahlpumpe aufgeteilt wird und Strahlpumpe und Brennstoffvormischer getrennte Einheiten bilden;

Fig. 4 ein Verfahrensschema wie in Fig. 3 mit dem Unterschied, daß Strahlpumpe und Brennstoffvormischer eine integrierte Einheit bilden.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der Fig. 1 bis 4 näher erläutert.

Das Verfahrensschema nach Fig. 1 zeigt, daß die Ansaugluft 1 zunächst in einem Verdichter 12 verdichtet wird und anschließend in einen Diffusor 13 gelangt. Die Luft aus dem Diffusor 13 wird in zwei Massenströme 2, 6 aufgeteilt. Der größere Massenstrom 2 wird direkt vom Diffusor 13 in die Strahlpumpe 14 geleitet, während der kleinere Luftmassenstrom zunächst als Kühlluft 6 für die Kühlung der Brennkammer 17 benutzt wird, bevor er dann ebenfalls in die Strahlpumpe 14 transportiert wird. Die Strahlpumpe 14 dient einerseits zum Rücksaugen eines Teils des Abgases 7, 8 von der Brennkammer 17, da in der Brennkammer 17 ein geringerer Druck herrscht, andererseits findet dort unter Ausnutzung der Druckenergie eine intensive Mischung des von der Brennkammer 17 zurückgeführten Abgases 7, 8 mit der Verbrennungsluft 2, sowie der zurückgeführten Kühlluft 6 statt. Das Abgas/Luft-Gemisch 3 gelangt dann von der Strahlpumpe 14 in den Brennstoffvormischer 15. Durch die Hauptbrennstoffeindüsung 10 wird gasförmige Brennstoff, beispielsweise Erdgas, zugemischt. Selbstverständlich kann in einem anderen Ausführungsbeispiel anstelle des gasförmigen Brennstoffes auch flüssiger Brennstoff eingesetzt werden. Dieser muß dann aber verdampft werden. Der Zündverzöger stellt dabei die Zeit zur Verfügung, die für die Vormischung notwendig ist. Anschließend wird dieses Abgas/Luft/Brennstoff-Gemisch 4 in der Brennkammer 17 verbrannt und die Turbine 18 wird mit dem heißen Abgas 5 beaufschlagt. Dort wird es zum Turbinen-Abgas 9 entspannt. Ein Teil des Abgases 5 von der Brennkammer 17 wird, wie bereits oben beschrieben, als rezirkuliertes Abgas 7 in die Strahlpumpe 14 zurückgeführt und mit der Verbrennungsluft 2 und der ehemaligen Kühlluft 6 gemischt.

Bei Teillastbedingungen ist die Temperatur des Abgases 7 nicht ausreichend, um die nötige Brennkammereintrittstemperatur zu erreichen. Deshalb kann, wie in Fig. 1 dargestellt ist, im Rückführkanal 16 eine Zusatzbrennstoffeindüsung 11 angeordnet werden. Das Abgas 7 wird mit dem zusätzlichen Brennstoff gemischt und verbrannt, so daß das nunmehr aufgeheizte Abgas 8 an der Strahlpumpe 14 eine höhere Temperatur aufweist. Falls das rezirkulierte Abgas 7 heiß genug ist, erfolgt dieser Vorgang ähnlich wie im Brennstoffvormischer 15 und in der Brennkammer 17 im Selbstzündmodus.

Infolge des Zumischens der heißen Abgase 7, 8 zur Verbrennungsluft 2 wird die Temperatur des Gases erhöht. Berechnungen zeigen, daß für eine gegebene Flammentemperatur Vormischbrennsysteme mit einer höheren Brennkammereintrittstemperatur niedrigere  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte aufweisen als Vormischbrennsysteme mit einer tieferen Brennkammereintrittstemperatur, was auf die geringere Reaktionsdichte zurückzuführen ist. Wenn die Brennkammereintrittstemperatur über 1150 K erhöht wird, dann sinkt die Zündverzögerzeit eines Erdgas/Luft-Gemisches bei typischen Gasturbinendruck auf Werte in der Größenordnung von 1 ms ab. Der geringe Zündverzöger infolge der chemischen Kinetik führt dann dazu, daß aerodynamische oder physikalische Flammenhalter oder Pilotflammen, welche nach dem Stand der Technik sonst eingebaut werden müßten, nicht mehr notwendig sind. Dies führt ebenfalls dazu, daß die  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte weiter gesenkt werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig. 2 dargestellt. Das Verfahren unterscheidet sich vom Ausführungsbeispiel 1 nur darin, daß die Strahlpumpe 14 und der Brennstoffvormischer 15 keine getrennten separaten Einheiten bilden, sondern eine einzige integrierte Einheit 19 (Strahlpumpmischer) darstellen. Dies ist möglich, da sowohl in der Strahlpumpe 14 als auch im Brennstoffvormischer 15 Mischprozesse stattfinden. In der integrierten Einheit 19 werden also die Verbrennungsluft 2, die aufgeheizte Kühlluft 6, das rezirkulierte Abgas 7 bzw. das aufgeheizte Abgas 8 und der gasförmige Brennstoff intensiv miteinander vermischt, so daß ein sehr kompaktes Brennersystem zur Verfügung steht.

Beim Start des Brenners und bei sehr niedrigen Lasten ist eine zusätzliche Wärmezufuhr nötig. Das kann, wie aus Fig. 2 zu entnehmen ist, dadurch realisiert werden, daß ein neben der Zusatzbrennstoffeindüsung 11 angeordnetes Hilfsbrennersystem 20, welches nicht auf Selbstzündung angewiesen ist, zugeschaltet wird.

Alternativ dazu kann in einem anderen Ausführungsbeispiel (siehe Fig. 3) das Hilfsbrennersystem 20 neben der Hauptbrennstoffeindüsung 10 angebracht werden und bei Bedarf zugeschaltet werden.

Das in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich vom Verfahren nach Fig. 1 nur noch neben dem eben Gesagten dadurch, daß der Luftmassenstrom vom Verdichter 12 in zwei Massenströme 2, 6b geteilt wird. Der größere Teil der Verbrennungsluft 2 wird benutzt, um die Strahlpumpe 14 direkt zu betreiben. Dadurch werden zusätzliche Diffusorverluste verhindert. Der zweite Luftmassenstrom 6 wird nach dem Durchgang durch den Diffusor 13 zur Kühlung der Wände der Brennkammer 17 verwendet. Danach wird er ebenfalls in die Strahlpumpe 14 abgelassen. Auf diese Weise ist zusätzlich zum Druckrückgewinn des Diffusors 13 der Saugdruck der Strahlpumpe 14 zur Kühlung des Systems benutzbar. Dies reduziert den notwendigen Massenfluß.

Der Unterschied des in Fig. 4 abgebildeten Verfahrens im Vergleich zum Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ist der gleiche wie der zwischen Ausführungsbeispiel 3 und 1, d. h. im Ausführungsbeispiel 4 wird der Luftmassenstrom aus dem Verdichter 12 in einen Strom 6 zum Diffusor 13 und zur anschließenden Kühlung der Brennkammer 17 und in einen direkten Strom 2 für die aus Strahlpumpe 14 und Brennstoffvormischer 15 bestehende integrierte Einheit 19 aufgeteilt, während in Fig. 2 der gesamte Luftmassenstrom durch den Diffusor 13 geht und erst danach in die beiden Teilströme 2, 6 aufgeteilt wird.

Die in den Ausführungsbeispielen 3 und 4 beschriebenen Verfahrensvarianten sind in Bezug auf Druckverlust und Kühlung effektiver als die Verfahrensvarianten 1 und 2.

Bei diesen Ausführungsbeispielen kann als Alternative auch zuerst eine Mischung von Verbrennungsluft und Brennstoff und dann anschließend die Zugabe von Brennstoff erfolgen.

Da das rezirkulierte Abgas 7, 8 auch ein zweites Mal durch die Flammenzone fließt, ist es möglich, diese Strömung in der Nähe des Brennkammereintritts herauszuziehen, obwohl die Reaktion und der CO-Ausbrand noch nicht in dieser Zone völlig beendet sind.

#### Bezugszeichenliste

1 Ansaugluft

2 Teil der Verbrennungsluft (größerer Luftmassenstrom)

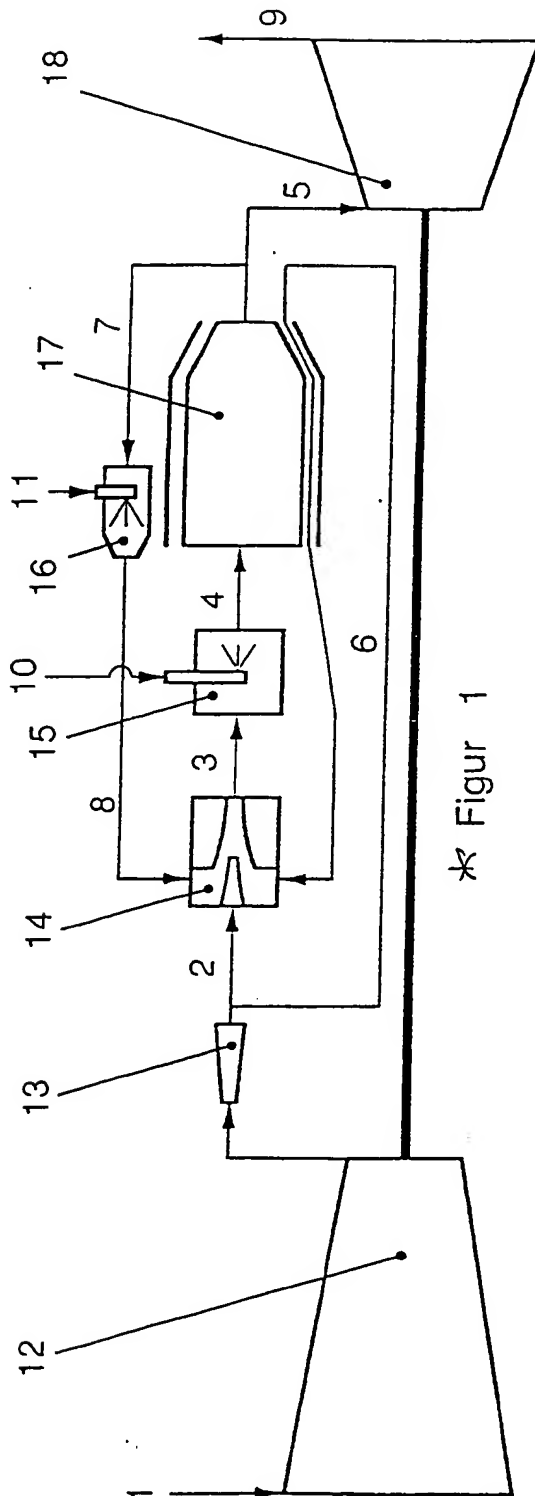
5	
vom Verdichter bzw. Diffusor)	
3 Abgas/Luft-Gemisch	
4 Abgas/Luft/Brennstoff-Gemisch	
5 Abgas	
6 Kühlluft	5
7 rezirkuliertes Abgas	
8 aufgeheiztes Abgas	
9 Turbinen-Abgas	
10 Hauptbrennstoffeindüsung	
11 Zusatzbrennstoffeindüsung	10
12 Verdichter	
13 Diffusor	
14 Strahlpumpe	
15 Brennstoffvormischer	
16 Abgasrückführkanal	15
17 Brennkammer	
18 Turbine	
19 integrierte Einheit aus Strahlpumpe und Brennstoff-	
vormischer	20
20 Hilfsbrennersystem	

sehr niedrigen Lasten ein vor der Hauptbrennstoffeindüsung (10) angeordnetes Hilfsbrennersystem (20), das nicht auf Selbstzündung angewiesen ist, zugeschalten wird.

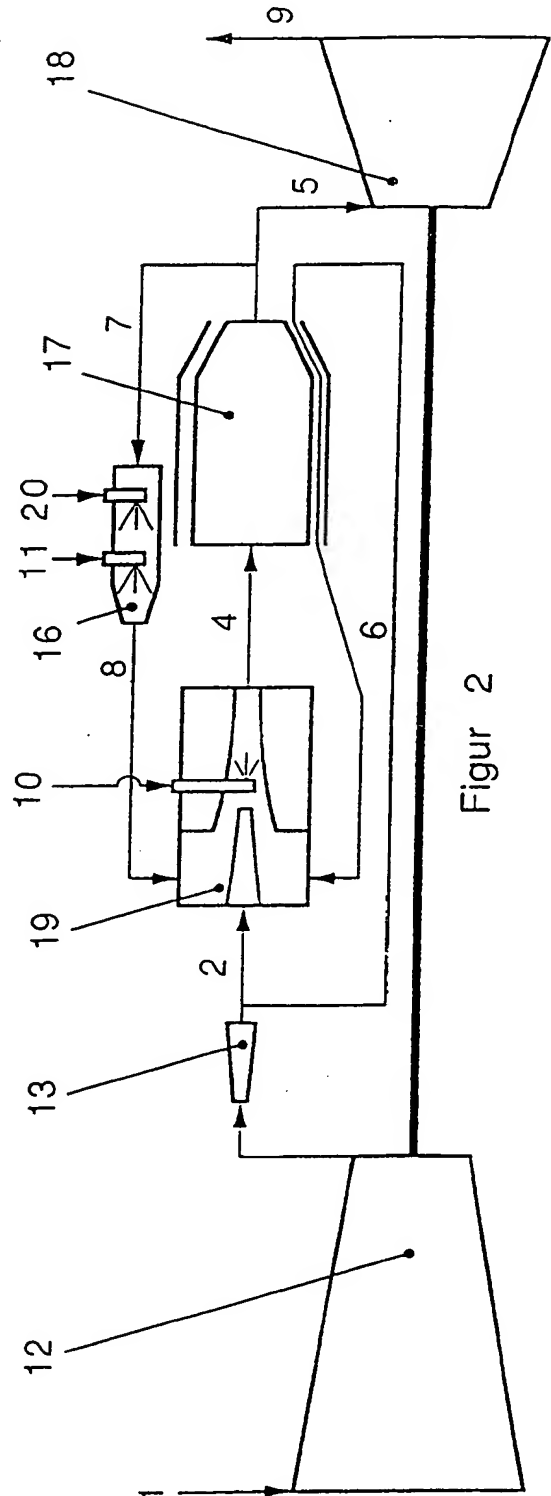
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbinenanlage mit flüssigem oder gasförmigen Brennstoff, bei dem 25 die Verbrennungsluft (2) in bekannter Weise in einem Verdichter (12) verdichtet wird, anschließend durch einen Diffusor (13) geführt wird, wobei entweder ein Teil der Luft vom Diffusor (13) als Kühlluft (6) zur Kühlung der Brennkammer (17) abge- 30 zweigt wird oder die gesamte Luft vom Diffusor (13) zur Kühlung der Brennkammer (17) eingesetzt wird, danach das Brennstoff/Luft-Gemisch in der Brennkammer (17) verbrannt wird und schließlich die Turbine (18) beaufschlagt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des Abgases (7, 8) von 35 der Brennkammer (17) in eine vor einem Brennstoffvormischer (15) angeordnete Strahlpumpe (14) zurückgeführt wird, dort unter Ausnutzung der Druckenergie mit der eintretenden Verbrennungsluft (2) gemischt wird und dieses Abgas/Luft-Gemisch (3) im Brennstoffvormischer (15) mit dem Brennstoff während der Zündverzugszeit gemischt wird oder daß alternativ dazu das zurückgeführte 40 Abgas (7, 8), die Verbrennungsluft (2) und der Brennstoff gleichzeitig unter Ausnutzung der Druckenergie der eintretenden Verbrennungsluft (2) und des Zündverzuges in einer integrierten Einheit (19) gemischt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlpumpe (14) oder die integrierte Einheit (19) direkt mit der vom Verdichter (12) kommenden Verbrennungsluft (2) beliefert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Teillastbedingungen in das 55 rezirkulierte Abgas (7) durch eine Zusatzbrennstoffeindüsung (11) weiterer Brennstoff eingedüst wird, wobei das Zündverzugsprinzip ausgenutzt wird. 60
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß beim Start der Anlage bzw. bei sehr niedrigen Lasten ein vor der Zusatzbrennstoffeindüsung (11) angeordnetes Hilfsbrennersystem (20), das nicht auf Selbstzündung angewiesen ist, zuge- 65 schalten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß beim Start der Anlage bzw. bei



\* Figur 1



Figur 2

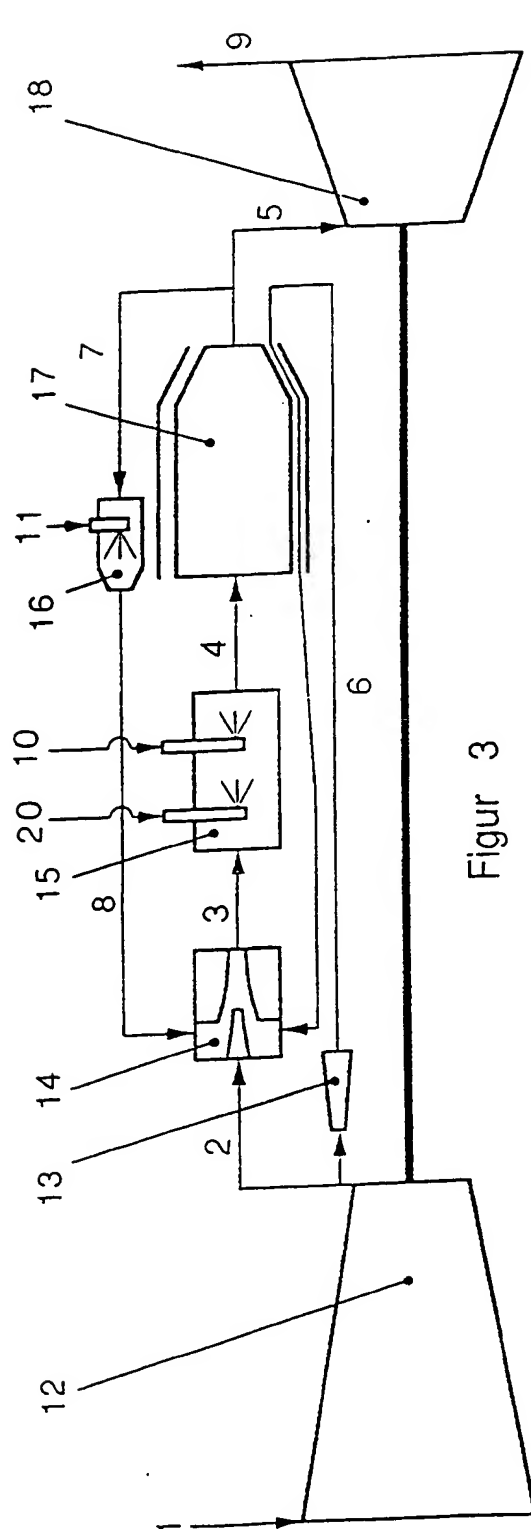


Figure 3

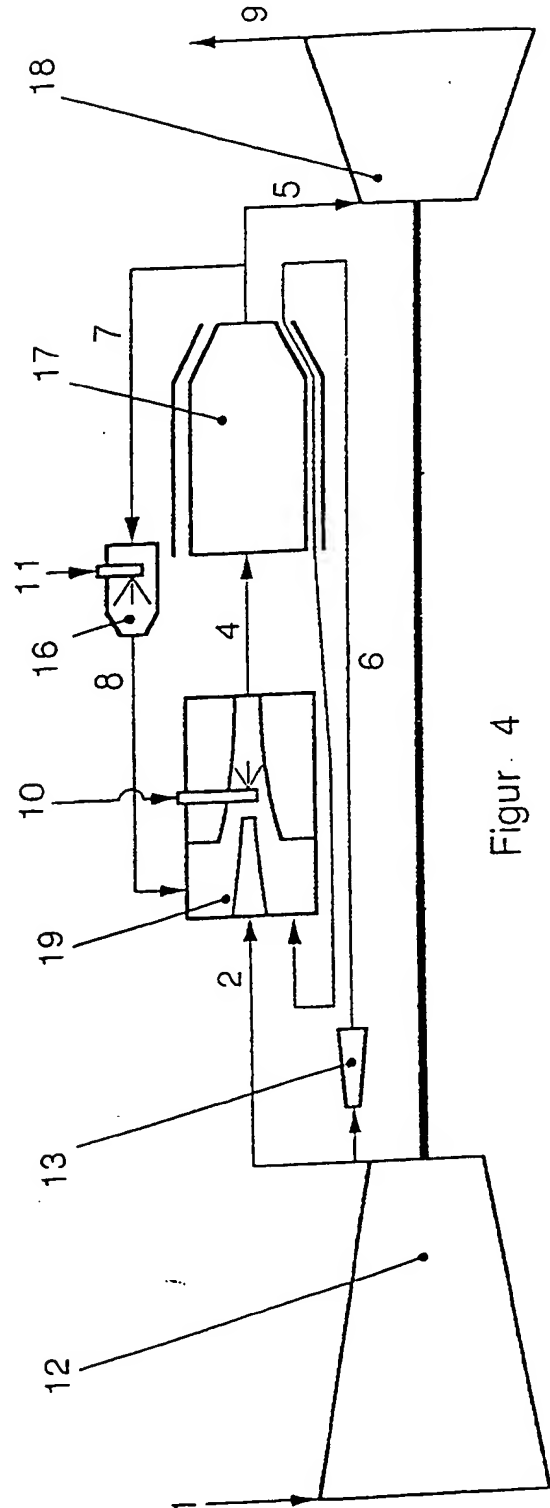


Figure 4